

## **38 – Los materiales férricos: clasificación, obtención y aplicaciones**

### **1. INTRODUCCIÓN**

Los materiales férricos son aquellos cuyo constituyente principal es el hierro (Fe) y que han sufrido un proceso de elaboración hasta llegar a obtener los diferentes “productos siderúrgicos”.

### **2. LOS MATERIALES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO SIDERÚRGICO**

#### **2.1. El hierro**

Con la denominación de hierro se designa al elemento químico hierro (Fe) y los productos siderúrgicos que están formados por hierro (metal) y otros elementos que tienen el carácter de impurezas (carbono, azufre, fósforo, etc.).

El hierro puro es un metal de color blanco-grisáceo, dúctil y maleable, buen conductor del calor y de la electricidad, tenaz y algo poroso. Permite que se le forje y se suelde entre sí. Es atacado por el aire húmedo (corrosión) y es penetrado por la oxidación. Es ferromagnético y su temperatura de fusión es de 1539° C.

#### **2.2. Los minerales del hierro. Preparación previa**

A pesar de su abundancia en la naturaleza, sólo dos tipos de minerales de hierro son aprovechables en la industria siderúrgica: las distintas variedades de óxidos y el carbonato.

Los minerales extraídos de las minas se transportan hasta las factorías siderúrgicas. Antes de dicho transporte existe la tendencia de hacer una preparación previa (trituration primaria y preconcentración con el fin de eliminar parte de la ganga, que es inútil en el proceso siderúrgico, y de esta forma abaratar el transporte de mineral útil.).

Los métodos de concentración y aglomeración son fundamentalmente la sinterización, peletización, broquelado y nodulización, siendo los dos primeros los más importantes.

##### **Sinterización.**

La sinterización consiste en aglomerar, a temperaturas del orden de 1.350° C, partículas finas de mineral mezcladas con un combustible (generalmente polvo de coque) y con un fundente. La temperatura alcanzada en el proceso hace pastoso el lecho y la fusión local de los materiales los aglomera, formando una torta porosa que, después de enfriada y convenientemente troceada en tamaños variables, se puede cargar directamente.

##### **Peletización.**

Los polvos de mineral se amasan con agua, polvo de carbón y aglomerantes (bentónica, cal hidratada). Se obtiene así las pellas (pellets) crudas que tienen muy poca resistencia mecánica y se desmoronarían en el transporte. Para evitarlo, se someten a un proceso de cocción en hornos.

#### **2.3. El carbón (coque)**

Es el residuo sólido que se obtiene por destilación de ciertos tipos de hullas en cámaras cerradas a temperaturas superiores a los 1.000° C.

Su misión es la de: generar, por combustión, el calor necesario para que se produzcan las reacciones de reducción, soportar las cargas en el horno alto, producir el gas reactor (CO) que transforma los óxidos en arrabio y dar permeabilidad a la carga del horno alto y facilitar el paso del gas.

Las instalaciones donde se realiza este proceso se denominan “baterías de coque” y se alcanzan temperaturas próximas a los 1.300° C.

#### **2.4. Los fundentes**

Rara vez la composición de la ganga es la adecuada para formar la escoria, impurezas concentradas que sobrenadan en el metal fundido, por lo que es preciso añadir fundentes, cuyas

funciones son: por una parte, combinarse en la ganga, bajando su punto de fusión y haciendo la escoria fluida; y, por otra, combinarse con las impurezas, pasándolas a la escoria. Los fundentes más utilizados son la sílice y la dolomía.

## **2.5. La chatarra**

La chatarra de acero es, junto con los minerales de hierro, la materia prima para la fabricación del acero. Con la designación de chatarra se entiende un conjunto de piezas, partes metálicas, etc., de acero, inservibles y sin ninguna utilidad.

Según la procedencia de la chatarra, tenemos:

La chatarra reciclada que es la formada por los despuntes, rechazos, etc., que se originan en la misma planta siderúrgica.

Y la chatarra comprada, la cual puede ser chatarra de transformación, que se produce durante la fabricación de piezas y componentes de acero y la chatarra de recuperación, originada cuando los aparatos, máquinas, instalaciones, etc., alcanzan el fin de su vida útil.

## **2.6. Los prerreducidos**

El hierro de reducción directa es el producto que se obtiene en el proceso de reducción del mineral de hierro realizado a una temperatura tal que no se llegue a la fusión. Se conoce por “grado de metalización”, la relación entre el hierro metálico del producto reducido y el hierro total del mineral empleado.

Al no haber fusión, y por lo tanto eliminación de la ganga en forma de escoria líquida, dicha ganga queda en el producto prerreducido.

Hay diversos procedimientos de reducción directa, pudiéndose clasificar en los que utilizan reductores sólidos y los que utilizan reductores gaseosos.

## **3. EL PRODUCTO SIDERÚRGICO PRIMARIO. EL ARRABIO Y EL HORNO ALTO**

Para la obtención de hierro a partir de sus minerales es necesario liberarlo del oxígeno que lo acompaña, mediante un proceso de reducción. Para ello se necesita un elemento reductor que sea más ávido del oxígeno que el hierro y que lo separe de éste, combinándose con él. Este elemento es el carbono, que es el constituyente principal del carbón.

Las reacciones de reducción no adquieren una velocidad económicamente ventajosa hasta que se alcanzan temperaturas bastante más elevadas (1.000° C). En virtud de este proceso de reducción, el mineral va empobreciéndose cada vez más en oxígeno y acaba por transformarse en “hierro esponjoso”. Si el proceso continúa, elevándose la temperatura, este hierro esponjoso se carbura y funde, transformándose en “arrabio”.

### **3.1. Descripción anatómica de un horno alto**

#### **El tragante.**

Es la parte alta del horno, por donde se introducen las cargas y los conductos de salidas de gases que se denominan el pantalón.

#### **La cuba.**

En la cuba se alcanzan temperaturas próximas a los 1.000° C. En su parte alta, las cargas se secan y empiezan su calentamiento. Al paso de las cargas por la cuba se inician las reacciones de reducción de los óxidos, en especial de los más complejos que se transforman en óxidos más simples, preparándose para la reducción total en las partes más bajas del horno.

#### **El vientre.**

Es la zona de transición en la que se alcanzan temperaturas entre los 950° C y los 1.200°C.

### Los etalajes.

Es la zona troncocónica invertida, situada debajo del vientre del horno.

### El crisol y las toberas.

La parte más baja del horno la constituye el crisol, cuya misión es recoger los productos fundidos: el arrabio y las escorias. En la parte baja del crisol existe un orificio o piquera para la sangría o salida del arrabio fundido. A cierta altura, existen otras piqueras para la salida de la escoria.

En la parte alta del crisol, en su zona de contacto con los etalajes, se insertan en todo su perímetro, una serie de toberas (entre 20 y 40) o conductos para la inyección del aire. Estas toberas están alimentadas por una tubería de gran diámetro que circunda a todo el horno a la altura de los etalajes, llamada “morcilla”.

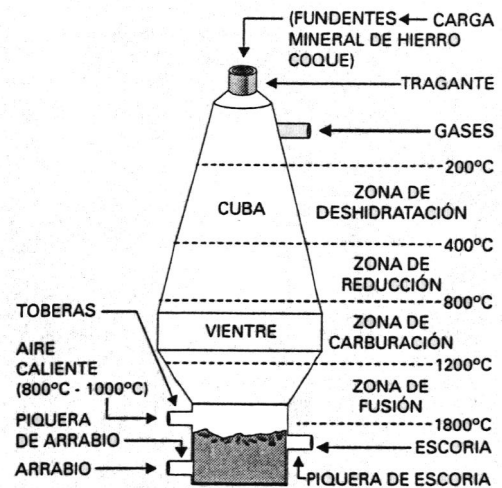


Figura 1. Horno alto.

### 3.2. Descripción funcional del horno alto

El horno alto es una instalación diseñada para que en él se produzcan las reacciones químicas de reducción de los minerales. Su funcionamiento es el siguiente:

- Por el tragante se introduce el mineral, coque y fundentes, los cuales se encuentran con una corriente ascendente de gas reductor caliente.
- Los gases de combustión alcanzan los 2.000° C, los cuales provocan las reacciones de reducción de los óxidos y la formación de las escorias.
- La carga sólida, en su descenso, va sufriendo una serie de transformaciones en su composición, hasta convertirse en hierro líquido el cual va colando hasta recogerse en la parte baja del horno, llamada crisol; los componentes de la ganga se combinan con los fundentes y forman la escoria, que también en estado líquido se va colando hasta el crisol y, debido a su menor densidad, sobrenada en el hierro fundido.

Periódicamente se sangra el horno, es decir, se vacía el crisol por un orificio practicado en la parte baja del mismo, llamada piquera. Por encima de la piquera de arrabio se sitúan una o dos piqueras para evacuación de las escorias.

El arrabio se conduce por unas regueras de arena hasta colarlo en las cucharas, que pueden ser abiertas o cerradas. Las cucharas conducen el arrabio, bien a la acería para la transformación en acero (afino de arrabio), bien a la máquina de colar, donde se vierte en moldes para obtener un producto sólido (lingote de hierro), que posteriormente, se trata en los cubilotes o en hornos eléctricos de arco o de inducción, para la obtención de función para la fabricación de piezas de este material.

El horno alto es de funcionamiento continuo. Las cargas tardan un largo tiempo en atravesarlo (alrededor de 8 horas) por lo que no puede detenerse sin programar su parada.

### 3.3. Las instalaciones auxiliares en un horno alto

Las instalaciones de inyección de aire.

La creación de esta corriente presenta varios problemas: el aire debe introducirse a una presión suficiente para que atravesase en pocos segundos (de 3 a 8 s) todo el horno, además este aire se debe insuflar a la mayor temperatura posible, entre 980° C y 1300° C. Este precalentamiento del aire se realiza en las estufas.

La depuración de los gases de salida.

Por la parte superior del horno (pantalón) escapan los gases a temperaturas que varían entre 120° C y 250° C. A estos gases les acompañan polvos de mineral y de coque por lo que es necesario limpiar y purificar antes de almacenar el gas para su uso posterior como fuente de energía.

### 3.4. Productos que se obtienen en el horno alto

#### El arrabio

El objetivo principal, para el que está diseñado el horno alto, es la obtención del arrabio.

Se debe llevar un control muy riguroso, tanto de las variables del proceso (presión, temperatura, y humedad del viento, etc.) como de las características de las cargas. Este control, que en las modernas instalaciones está gobernado por ordenador, permite una marcha regular del horno y obtener una calidad constante del arrabio que es imprescindible para su tratamiento en una acería de conversión moderna.

#### Las escorias

La escoria, que sale del horno en estado fundido, desempeña un papel fundamental en la marcha del horno alto, ya que ésta se regula y controla a través de la escoria, cuya misión es separar todos los elementos escorificables que entran en el horno, absorber gran parte del azufre y regular la temperatura del crisol y la composición y temperatura del arrabio.

Las escorias de horno alto tienen múltiples aplicaciones tales como: balasto para la construcción de carreteras y de vías de ferrocarriles, áridos de hormigón, para rellenos de minas, en la industria del cemento y para la fabricación de aislantes térmicos (lanas de escorias).

#### Los gases y polvos del tragante

Después de separar las partículas sólidas en los distintos elementos de depuración, estas se reciclan, mezclándolas con los finos de mineral en las instalaciones de sinterizado.

Los gases depurados se almacenan en un gasómetro para su consumo posterior como combustible (gas pobre). Este se utiliza, bien solo o bien mezclado con gas de baterías, en instalaciones de la propia factoría, como pueden ser las estufas de calentamiento de viento, o cualquier otra instalación de la planta.

## 4. ALEACIONES HIERRO-CARBONO

### 4.1. Estados alotrópicos del hierro

El hierro, al calentarse hasta su punto de fusión, sufre una serie de transformaciones en su estructura cristalina; estas transformaciones son reversibles, al enfriarse y pasar del estado líquido al estado sólido a temperatura ambiente.

Estas transformaciones son: Hierro alfa ( $Fe\alpha$ ), hierro beta ( $Fe\beta$ ), hierro gamma ( $Fe\gamma$ ) y hierro delta ( $Fe\delta$ ).

Todas las transformaciones alotrópicas van acompañadas de un cambio de volumen, realmente sólo existen dos estado alotrópicos, el de hierro alfa ( $Fe\alpha$ ) y el de hierro gamma ( $Fe\gamma$ ).

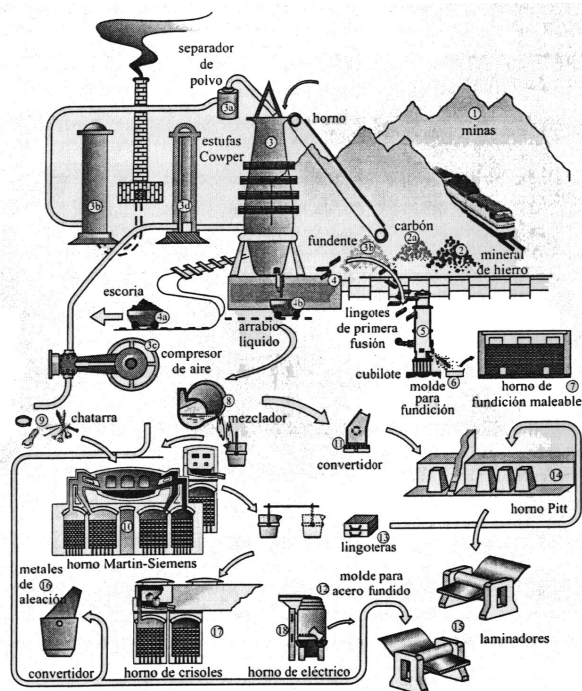


Figura 2. Esquema general de la fabricación de la fundición y del acero. Fabricación de la fundición:

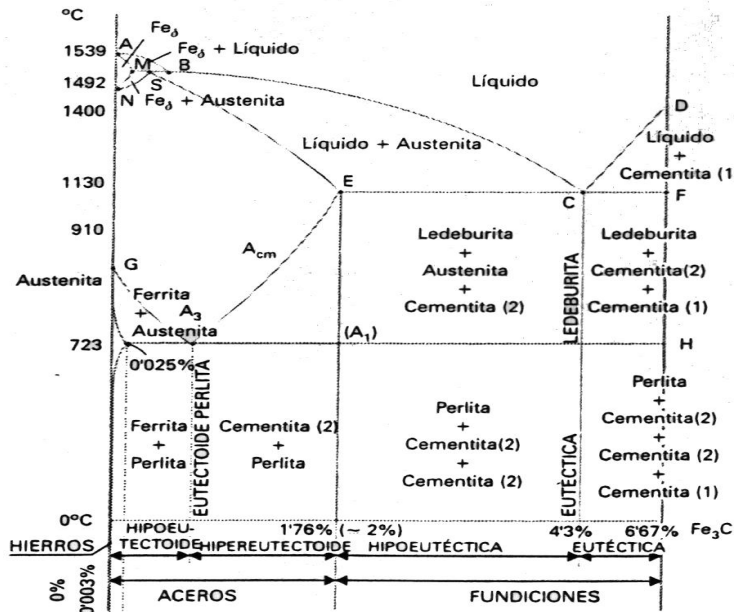
## 4.2. Constituyentes estructurales

Las aleaciones están formadas por distintos elementos constituyentes. La naturaleza de las aleaciones varía en función de la concentración de los componentes químicos y de la temperatura.

El carbono aparece, en estas aleaciones, formando carburo de hierro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), llamado cementita, por lo que sería más real hablar de aleaciones de Hierro-Carburo de hierro.

Los distintos elementos que aparecen en el diagrama de fases de las aleaciones Hierro-Carbono son: Ferrita, cementita, perlita, austenita, martensita, sorbita, troostita, bainita, ledeburita y grafito.

## 4.3. Diagrama de equilibrio hierro-carbono (Fe-C)



De entre los diagramas de equilibrio de todas las aleaciones que se pueden presentar, el de las aleaciones de hierro y carbono es, desde el punto de vista práctico, el más importante.

A las temperaturas que determinan las líneas horizontales (isotermas) del diagrama de equilibrio se producen transformaciones en las que intervienen tres fases.

## 5. FUNDICIONES

Se denominan así los productos siderúrgicos con un contenido en carbono superior al 2% e inferior al 6,67%. Contiene, además, cantidades apreciables de silicio, manganeso, pudiendo estar presentes otros elementos de aleación para controlar o variar ciertas propiedades, denominándose estas últimas “fundiciones aleadas”.

Las propiedades de las aleaciones vienen determinadas, tanto por su composición, como por la velocidad de enfriamiento.

### 5.1. Propiedades básicas de las fundiciones

Presentan un amplio intervalo de resistencias mecánicas y de durezas, así como dificultades para su mecanización.

Si son aleadas, aumentan su resistencia al desgaste, a la abrasión y a la corrosión, aunque presenta una débil resistencia al impacto (baja resiliencia) y escasa ductilidad. Pero con un buen control de la fundición y el tratamiento térmico adecuado, las propiedades mejoran ampliamente.

El bajo costo y los importantes avances en el control de las fundiciones, ha dado lugar a la gran expansión que ha presentado su aplicación.

### 5.2. Clasificación de las fundiciones

Las fundiciones se clasifican por los siguientes criterios: por la composición de la fundición, por el proceso de elaboración y por la forma de presentarse el carbono.

Algunas de las fundiciones existentes son:

### **Fundiciones blancas**

Fundiciones con velocidad de enfriamiento elevada. Gran dureza y resistencia al desgaste. En cambio, presentan una fragilidad elevada, baja resistencia al impacto y que sean muy difíciles de mecanizar.

### **Fundiciones grises**

Velocidad de enfriamiento no muy rápida. Son frágiles, fáciles de mecanizar, poseen propiedades autolubricantes, y buena resistencia a la corrosión frente al agua.

### **Fundiciones maleables**

Poseen un núcleo duro y una superficie más blanda, ya que se parte de una fundición blanca y con ello poder obtener piezas moldeadas que se puedan mecanizar.

Existen tres tipos de fundiciones maleables: fundición maleable de corazón blanco o fundición europea, fundición maleable de corazón gris o fundición americana y fundición maleable perlítica.

Además existen las fundiciones de grafito esferoidal o nodal o fundición dúctil y las fundiciones aleadas.

## **5.3. Obtención de las fundiciones**

Si atendemos al procedimiento de obtención, las fundiciones pueden ser de primera o de segunda fusión.

Las fundiciones de primera fusión o arrabio, se obtienen directamente del Horno alto.

El volumen más importante del arrabio se aplica bien a la obtención de aceros o bien a ser colado en forma de lingotes que se destinarán a servir de materia prima de una nueva fusión, de donde se obtendrán las fundiciones de segunda fusión.

La segunda fusión se realiza en hornos de “cubilote”, hornos tipo cuba, cilíndricos, verticales, dado que permiten la adición de elementos aleantes y éstos les conferirán al producto final una serie de propiedades que darán como resultado diferentes tipos de fundiciones.

## **6. ACEROS**

### **6.1. Propiedades básicas de los aceros**

El hierro puro no posee la resistencia y la dureza necesarias para las aplicaciones de uso común. Cuando el hierro se combina con pequeñas cantidades de carbono se obtiene el metal denominado acero y sus propiedades dependen, además de su contenido en carbono, de otros elementos de aleación, que pueden añadirse y mejorar sus características.

El acero es un producto férreo con concentraciones de carbono comprendidas entre el 0,03% y el 2%, límites que lo separan del hierro dulce por abajo y de las fundiciones por arriba.

### **6.2. Clasificación de los aceros**

El acero se puede clasificar atendiendo: a la composición química, a la estructura de equilibrio, al tratamiento térmico, a las aplicaciones o atendiendo al método de obtención.

### **6.3. Tipos de aceros**

#### **6.3.1. Aceros no aleados o aceros al carbono**

El único elemento que interviene como aleante es el carbono, además de algunas impurezas. Dependiendo de la concentración de carbono tenemos el acero: extrasuave, suave, semisuave, semiduro, duro, extraduro, por orden ascendente en la concentración de carbono.

La resistencia mecánica aumenta con la concentración en carbono, al mismo tiempo que disminuye la plasticidad y tenacidad.

#### **6.3.2. Aceros aleados**

Cuando se emplean tecnologías que requieren que los aceros cumplan, simultáneamente, características muy variadas, sólo se puede conseguir mediante la adición al material base de uno o varios elementos de aleación, en concentraciones adecuadas. Los cambios de propiedades surgen como consecuencia de las modificaciones que los aleantes introducen en la composición, química y estructural, de los aceros.

#### 6.3.3. Aceros de baja aleación

La suma de los elementos aleantes es inferior al 10%. Son los aceros de construcción, los cuales se emplean, en general, para la fabricación de las piezas de transmisión de movimiento de las máquinas y para la construcción de estructuras. Dependiendo del elemento aleante tenemos: Aceros al manganeso, al níquel, al níquel-cromo, al molibdeno, al cromo, al vanadio, al wolframio y al silicio.

#### 6.4.3. Aceros microaleados

Son aceros de muy baja proporción de los elementos aleantes. En general, estos aceros, presentan un límite elástico y una resistencia mecánica elevados, elevado límite elástico, gran tenacidad, buena soldabilidad y conformabilidad.

#### 6.3.5. Aceros de alta aleación

Son los aceros que contienen una concentración de elementos de aleación superior al 10%, lo que provoca una profunda modificación de las propiedades del hierro. El precio de este tipo de aceros es mayor que los de baja aleación, por lo que se reservan para aplicaciones mucho más especializadas, como por ejemplo: las altas resistencias al desgaste o a la corrosión; o que deban soportar, sin deformarse, trabajos en frío y en caliente.

Se presentan dos tipos de aceros de alta aleación: los aceros inoxidable (muy resistentes a la corrosión) y los aceros para herramientas (trabajan rápidamente, tanto en frío como en caliente).

### 6.4. Obtención de los aceros

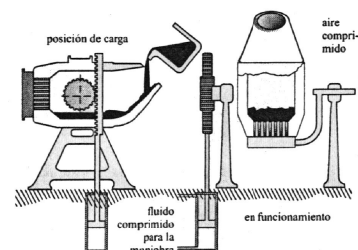
El acero se obtiene, fundamentalmente, a partir de las siguientes materias primas: el arrabio, obtenido en el horno alto, bien en estado sólido o bien en estado líquido, la chatarra de acero, fundentes y combustible.

Para la obtención del acero es preciso, por un lado, eliminar todas las impurezas que se encuentran en el arrabio o en las chatarras y, por otro, controlar, dentro de los límites especificados, según los distintos tipos de acero, los contenidos de aquellos elementos que influyen en sus propiedades.

Los distintos procesos se diferencian en la forma de aportar la energía necesaria.

#### 6.4.1. Método Bessemer

El hierro líquido se vierte en un horno basculante, en forma de pera, llamado convertidor, donde por insuflación de aire y eliminación de impurezas se convierte en acero.



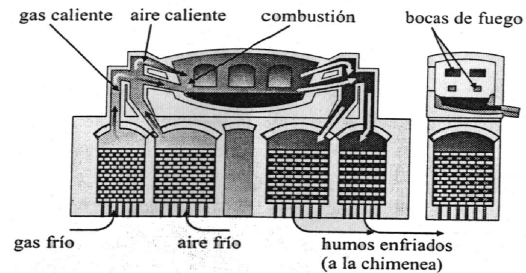
#### 6.4.2. Método Thomas



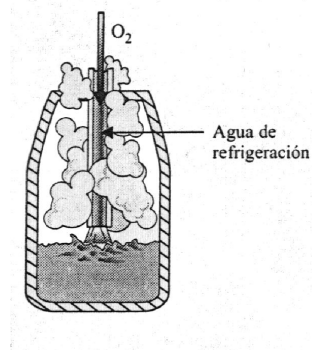
El procedimiento Thomas es el mismo que el de Bessemer, diferenciándose de él únicamente en que el revestimiento del convertidor, que es de carácter básico, tiene la propiedad de absorber al fósforo, quitándoselo al arrabio durante la operación e impidiendo, por tanto, que vaya al acero obtenido.

#### 6.4.3. Método Martin-Siemens

Este procedimiento, que también se llama de “fabricación en solera” consiste en afinar el arrabio, fundiéndolo junto con chatarra de hierro o acero y mineral de hierro (óxido), en hornos de reverbero alimentados con gasógeno y recuperadores de calor, con cuyo sistema se consigue una temperatura lo suficientemente alta.



#### 6.4.4. Los procesos de conversión con oxígeno (LD, Kaldo y PL)



La técnica de fabricación de acero con oxígeno puro es reciente: consiste en inyectar oxígeno, por la parte del convertidor, a presión (10 a 14 atmósferas) en el baño metálico de arrabio y chatarra, contenido en un convertidor, a través de un tubo refrigerado (lanza) hasta conseguir la transformación completa del acero.

En cuanto a calidad, el acero que se obtiene es equivalente al que se produciría en un convertidor Martin, y en algunos casos de calidad superior.

Otras variantes a este método (LD), son: el método Kaldo y el método PL.

#### 6.4.5. El horno eléctrico y los procesos de conversión que utilizan básicamente chatarra

La base de la fabricación del acero en el horno eléctrico es la fusión de las chatarras por una corriente eléctrica y el afino posterior del baño fundido.

Atendiendo al modo en que se utiliza la corriente para producir el calor necesario para la fusión, existen dos tipos de hornos eléctricos: los de inducción y los de arco.

El proceso de fabricación de acero por horno eléctrico puede dividirse en dos fases: la fase de fusión y la de afino.

### 6.5. La metalurgia secundaria. Descripción de algunos tratamientos

Para acortar el tiempo comprendido entre colada y colada, los tratamientos de afino se realizan fuera del horno, tratamientos de metalurgia secundaria o metalurgia en cuchara.

Los sistemas o procesos de la metalurgia secundaria se han establecido para lograr diversos objetivos. Su cumplimiento da por resultado un acero que cumple las especificaciones más estrictas exigidas hoy por la técnica. Estos son: el control de gases, bajos contenidos en azufre y la mejora de las propiedades mecánicas.

La metalurgia secundaria se lleva a cabo en equipos diversos, tales como cucharas, convertidores u hornos especiales.

## 7. DESIGNACIÓN DE LOS ACEROS Y LAS FUNDICIONES

Se emplean dos formas básicas de identificar a los aceros y las fundiciones: la designación convencional numérica y la designación convencional simbólica.

### Designación convencional numérica

Se utiliza un conjunto de cifras y una letra (F o G), que sirve para identificar el acero o la fundición.

#### a) Designación convencional numérica de los aceros

Se define mediante la letra (F) mayúscula, que sirve para identificar que se trata de un acero, seguida de cuatro cifras. La primera indica los grandes grupos de acero, siguiendo



un criterio de utilización, la segunda establece distintos subgrupos con características comunes y las dos últimas cifras no tienen valor de clasificación, solamente tienen la función de diferenciar un acero de otro, aplicándose a medida que el acero va siendo definido cronológicamente.

b) Designación convencional métrica de las fundiciones

Se definen, las fundiciones, mediante la letra (G) mayúscula, seguido de cuatro cifras igual que antes.

**Designación convencional simbólica**

Es un conjunto de letras, números y signos que expresan algunas características básicas (físicas, químicas o tecnológicas) particulares y, en caso de necesitarse, las características suplementarias que permitan identificar un acero sin ambigüedad. Esta identificación se consigue por medio del tipo y del grado.

**8. FERROALEACIONES**

Reciben esta denominación todos aquellos productos siderúrgicos que, además de hierro, contienen uno o varios elementos químicos adicionales, pero sin la presencia de carbono. Con posterioridad, al adicionarle el carbono se obtienen aceros que presentan propiedades mejoradas.

**9. CONGLOMERADOS FÉRREOS**

Son materiales, empleados en la fabricación de piezas con tolerancias de hasta 0,01 mm, formados por la unión, entre sí, de distintos materiales férricos, en polvo, a los que se comprime en un molde, a altas presiones y temperaturas un poco por debajo del punto de fusión, obteniéndose una masa compacta.

No son, en realidad, aleaciones, puesto que el proceso consiste en aglomerar los distintos materiales, después de pulverizarlos y mezclarlos íntimamente.

A esta técnica de obtención de piezas se le conoce, también, con los nombres de sinterizado, metalurgia de polvos o pulvimetalurgia.